

DT01 Rec'd PCT/PTC 15 OCT 2004

5

10           **Verfahren zum Herstellen von kryogenen, monergolen  
Festtreibstoffen und danach erzeugte Festtreibstoffe**

15

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Herstellen von auf  
unter Raumtemperatur gekühlten (kryogenen), monergolen  
Feststofftreibstoffen für Raketenantriebe, insbesondere aus  
20 heterogenen Flüssig-Fest-Treibstoffen, bei denen mindestens  
einer der Reaktanden als Oxydator oder Brennstoff eine bei  
Normaltemperatur flüssige oder gasförmige Phase enthält,  
beispielsweise Emulsionen nicht ineinander löslicher  
flüssiger Komponenten, Suspensionen von festen in flüssigen  
25 Komponenten oder flüssigkeitsgetränkte Schüttungen.

Die Erfindung betrifft ferner einen auf unter Raumtemperatur  
gekühlten (kryogenen) Festtreibstoff für Raketenantriebe,  
insbesondere eine heterogene quasi-monergole Brennstoff-  
30 Oxydator-Kombination, bei der mindestens einer der Reaktanden  
eine bei Normaltemperatur flüssige oder gasförmige Phase ist,  
beispielsweise Emulsionen nicht ineinander löslicher  
flüssiger Komponenten, Suspensionen von festen in flüssigen  
Komponenten oder flüssigkeitsgetränkte Schüttungen.

35

Damit zielt die Erfindung auf das technische Gebiet der Treibstoffe für Raketenantriebe und darin solche zur Herstellung und zum Aufbau von Feststofftreibsätzen. Als solche werden im Rahmen der Erfindung in bestimmten geometrischen Formen vorliegende, einfache oder zusammengesetzte Treibstoffblöcke verstanden. Dies umfasst auch eventuelle Ein- oder Anbauten, die bei ungekühlt lagerfähigen Treibstoffen aus mechanischen Gründen, als Dichtungen, als Abbrand-Inhibitoren oder aus anderen Gründen angebracht sind, bei kryogenen Feststoffen zudem auch als Stütz-, Füllungs-, Entleerungs- oder Kühlvorrichtungen. In beiden Fällen werden diese im Betrieb beim Abbrand ganz oder teilweise verbrannt.

Bei allen bekannten Raketentreibstoffen liegen die Komponenten im flüssigen und/oder festen Aggregatzustand vor und dienen als Oxydator oder als Brennstoff. Manchen haben auch noch andere Funktionen beispielsweise als Binder oder Additive.

Unabhängig vom Aggregatzustand werden Treibstoffe, welche Oxydator- und Brennstofffunktion in sich vereinigen, Monergole (Einkomponententreibstoffe) genannt. Bei Verteilung der Funktionen auf getrennte Komponenten spricht man von Diergolen.

Monergole können sowohl nach ihrem Phasenaufbau und ihrer molekularen Zusammensetzung als auch nach ihrem Aggregatzustand homogen oder heterogen sein. Beispiele für homogene Monergole als Flüssigtreibstoff sind Wasserstoffperoxyd, Hydrazin und Nitroglycerin. Heterogene Monergole umfassen beispielsweise Emulsionen nicht ineinander löslicher flüssiger Komponenten.

Es sind eine ganze Reihe von Treibstoffen für Raketenantriebe bekannt, bei denen mindestens eine der Komponenten eine bei Normaltemperatur flüssige Phase ist (US 2 802 332, US 3 367 268, US 3 398 215, US 3 687 746, US 3 697 455, US 3 703 080). Die US 2 802 332 beschreibt einen Treibsatz einer Flüssigkeitsrakete, die eine Struktur aufweist, welche aus einer Vielzahl von Zellen gebildet ist. In diesen Zellen befindet sich zumindest ein Reaktand. Die Wände der zellähnlichen Struktur bestehen aus Polyethylen, Teflon oder Silikongummi. Die einzelnen Zellen sind durch Öffnungen miteinander verbunden.

Der Stand der Technik nach US 3 367 268 betrifft einen hybriden Raketentreibsatz, der aus einer festen polymerischen zellähnlichen Gummisubstanz aufgebaut ist, welche eine interzelluläre Matrix bildet. In dieser Matrix sind pulverförmige Festbrennstoffe, beispielsweise Leichtmetallpulver der Gruppe II und III des PSE, sowie verstärkende Fasern eingebettet. Die Poren enthalten einen flüssigen Oxydator.

In der US 3 398 215 ist ein Verfahren zur Herstellung eines Raketentreibsatzes beschrieben, bei dem ein aushärtbares Gummipolymer mit pulverförmigem Metallbrennstoff und Aushärter vermischt sowie mit einem organischen Treibmittel behandelt wird. Das Gummipolymer ist aus der Gruppe der gummiartigen Kohlenwasserstoffe und der halogenierten Kohlenwasserstoffgummis ausgewählt. Als Metallbrennstoff werden Pulver aus Aluminium, Bor, Titan, Beryllium, Magnesium und Lithium eingesetzt. Das organische Treibmittel siedet bei 70 bis 200 °C und ist mit dem Polymer verträglich. Es verdampft bei einer Aushärtungstemperatur von 120 °C bis 205 °C in den Komposit hinein, wobei sich Poren bzw. Zellen in

der Matrix ausbilden. Die schwammähnliche Matrix enthält den Metallbrennstoff und bildet eine zusammenhängende Phase. Die Matrix wird alsdann in eine Oxydatorflüssigkeit getaucht, so  
5 dass sich die Poren mit der Oxydatorflüssigkeit füllen. Allen diesen bekannten Lösungen ist der Nachteil gemeinsam, dass sie nur ein sehr geringes Leistungsniveau erreichen und kompliziert in ihrem Aufbau und ihrer Handhabung sind.

10 Es ist auch bekannt, Treibsätze in sehr unterschiedlichen geometrischen Formen herzustellen. Sie können aber grob in zwei Kategorien eingeteilt werden, nämlich Innenbrenner mit mehr radial gerichtetem Abbrand und Stirnbrenner mit mehr  
15 axial gerichtetem Abbrand.

Neben den monergolen Treibstoffen sind solche bekannt, die Brennstoff und Oxydator als getrennte Elemente in verschiedenen geometrischen Anordnungen enthalten. Beispiele  
20 sind radial brennende Scheibenstapel oder Rod-in-Matrix-Stirnbrenner (R.E.LO, N.EISENREICH; „Modulare und kryogene Feststofftreibsätze - eine neue Klasse chemischer Raketenantriebe“, Deutscher Luft- und Raumfahrtkongress, DGLR-JT98-104; Bremen, 7.10.1998; Jahrbuch 1998, Band 2, S.  
25 1231). Solche Anordnungen werden als modulare Treibsätze bezeichnet. Modulare Treibsätze mit großen Modulelementen gehören zu den Diergolen (Zweikomponententreibstoffe). Der Abbrand erfolgt in Diffusionsflammen als sogenannter Grenzschichtabbrand, bei welchem der Übergang zu  
30 unkontrollierten Explosionen oder Detonationen nicht oder nicht leicht erfolgen kann.

Von den modularen Treibstoffen sind auch solche mit eingekapselten Komponenten zu unterscheiden. Ziel der

Einkapselung ist die gegenseitige Abtrennung reaktiver Flüssigkeiten und damit eine Verbesserung der Langzeitlagerfähigkeit. In den Kapseln können Flüssigkeiten  
5 oder sehr empfindliche Reaktanden eingeschlossen werden. Kleine Kapseln werden ungerichtet in Bindern eingeschlossen, Makrokapseln sind ausgerichtet angeordnet und mit einem Binder oder aushärtenden Festtreibstoff vergossen. Bei steigender Kapselgröße (siehe R.M.MCCURDY et al. „Solid  
10 Propellant Grain Containing Metal Macrocapsules of Fuel and Oxidizer“, US 3 527 168) und gerichteter Anordnung gehen Kapseltreibstoffe in eine Unterklasse der Rod-in-Matrix-Treibstoffe über.

15 Mit kleiner werdender Elementabmessungen und insbesondere, wenn die Elemente nicht mehr gleichmäßig, sondern statistisch angeordnet sind, gibt es dagegen bei allen bekannten Treibstoffen einen fließenden Übergang zu den heterogenen Monergolen. Die dabei entstehenden Treibstoffkombinationen  
20 lassen sich am besten als „Quasi-Monergole“ bezeichnen.

Dieselbe relativ schlechte Abgrenzbarkeit zwischen Monergolen und Diergolen findet man bei den gefüllten Schwammtreibstoffen und umgossenen Treibstoffschüttungen.  
25 Diese beiden Treibstoffklassen haben mit den modularen Treibsätzen auch gemein, dass sie mit lagerfähigen Komponenten kaum für die praktische Anwendung in Raketenantrieben interessant sind, allerdings sind die Gründe unterschiedlich. Bei den modularen Festtreibstoffen ist es  
30 die eng begrenzte Auswahl an energetisch interessanten lagerfähigen Treibstoffen. Wegen der größeren Auswahl bei flüssigen Treibstoffen gilt diese Begrenzung bei den fest-flüssig heterogenen Schüttungen und Schwämmen nur für die feste Phase. Die eigentliche Beschränkung stammt aber von

ihrer nur sehr bedingten Einsetzbarkeit unter Triebwerksbedingungen, wo die Separation der flüssigen Phase unbedingt vermieden werden muss. Einkapselung ist eine  
5 mögliche Lösung, die aber an den erforderlichen komplizierten Herstellungsbedingungen krankt. Wenn die Kapseln zur Größe von Stangen anwachsen, wie bei modularen Rod-in-Matrix-Treibsätzen, ist die Methode zur Verbrennung von Flüssigkeiten nicht mehr geeignet.

10

Neben den lagerfähigen Feststofftreibsätzen wurden solche aus gefrorenen Treibstoffen vorgeschlagen, deren Komponenten bei Normaltemperatur Flüssigkeiten oder Gase sind. Solche Treibstoffe werden hier als Kryofesttreibstoffe (Cryogenic  
15 Solid Propellants -CSP) bezeichnet.

Monergole CSP bestehen aus eingefrorenen, bei Zimmertemperatur fluiden Monergolen. Modulare CSP setzen sich aus mindestens einem gefrorenen Element zusammen, das nicht  
20 für sich alleine brennbar ist (US 3 137 127). Der Abbrand modularer, nicht monergoler Treibstoffelemente ist grundsätzlich ein diffuser Grenzschriftabbrand und als solcher vom Zustrom von Reaktanden abhängig. Wenn dieser nicht durch eine kräftige Strömung, sondern nur durch  
25 Konvektion erfolgt, ist die Reaktion unregelmäßig und schleppend, wenn sie überhaupt erfolgt. Daher benötigen modulare Treibsätze mindestens ab einer gewissen Größe der Elemente einen oder mehrere permanente Zündfackelgeneratoren (US 6 311 479).

30

Bei diesem Stand der Technik liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, die Leistungsfähigkeit der Kryofesttreibstoffe im Vergleich zu konventionellen Feststoffantrieben, Hybridantrieben oder Flüssigkeitstriebwerken zu erhöhen,  
35 ihre Lagerfähigkeit und

Wirtschaftlichkeit bei Vermeidung eines aufwendigen Flüssigkeitsmanagements unter gleichzeitigem Wegfall einer permanenten Zündung der Kryofesttreibstoffe in einfacher  
5 Weise zu verbessern.

Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren der eingangs genannten Gattung mit den kennzeichnenden Merkmalen des Anspruchs 1 und durch den Festtreibstoff mit den Merkmalen des Anspruchs  
10 10 gelöst.  
Vorteilhafte Ausgestaltungen sind den Unteransprüchen entnehmbar.

Das erfindungsgemäße Verfahren zeichnet sich vor allem  
15 dadurch aus, dass durch das Einfrieren der flüssigen Phase bei den heterogenen Flüssig-Fest-Treibstoffen letztere zu kryogenen, monergolen Festtreibstoffen werden, wodurch die permanente Zündung entfallen kann und Probleme des Flüssigkeitsmanagements, welche bei normalen Flüssig-Fest-  
20 Quasimonergolen auftreten, umgangen werden.

Die Erfindung deckt somit alle quasi-monergolen Brennstoff-Oxydator-Kombinationen ab, bei welchen mindestens eine der Komponenten eine gefrorene Flüssigkeit ist.

Die Erfindung führt zu erheblichen Leistungssteigerungen von  
25 Trägerraketen. Neben der Umweltfreundlichkeit des Antriebes führt die Erfindung des weiteren bei Wahl geeigneter Treibstoffkandidaten wie z.B. SOX oder  $\text{SH}_2\text{O}_2$  in Verbindung mit festen Kohlenwasserstoffen wie PE, PU, HTPB zu signifikanten Betriebs- und somit Startkosteneinsparungen.  
30 Trotz der offensichtlichen, hier nicht relevanten, technologischen Probleme kryogener Feststoffraketen besteht für diese ein potentiell sehr großer Markt in der Raketentechnik.

Weitere Vorteile und Einzelheiten ergeben sich aus der  
35 nachfolgenden Beschreibung unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen.

Die Erfindung soll nachstehend an einem Ausführungsbeispiel näher erläutert werden.

5 Es zeigen

- Fig. 1 einen Schnitt durch einen Polymerschwamm als Feststoffstruktur mit eingelagerter Kryogener Phase,
- 10 Fig. 2 einen Schnitt durch einen Aluminiumschwamm als Feststoffstruktur mit eingelagerter kryogener Phase und
- 15 Fig. 3 einen Schnitt durch eine umgossene Schüttung aus Polyäthylen und kryogener Phase.

Ein Raketentreibsatz aus erfindungsgemäßem Feststofftreibstoff soll mit dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellt werden.

Der Feststofftreibstoff soll -wie Fig. 1 zeigt- aus einem Polymerschwamm 1, beispielsweise aus Polyäthylen, als Brennstoff und einer kryogenen Oxydatorphase 2, 25 beispielsweise aus gefrorenem Wasserstoffperoxyd, bestehen. Der Schwamm 1 als feste Phase wird zunächst an der inneren Isolation einer nichtdargestellten Brennkammerwand durch Verklebung befestigt und dann mit Wasserstoffperoxid unter Ausnutzung von Kapillarkräften oder eines Druckgefälles 30 gefüllt und bei Bedarf anschließend durch Unterkühlung im Schwamm 1 eingefroren. Das Wasserstoffperoxyd verbleibt als kryogene Phase 2 im Schwamm 1.

Natürlich ist es auch möglich, ohne die Erfindung zu 35 verlassen, den Schwamm 1 direkt in die Brennkammer hineinzuschäumen.



Die Verbrennung des erfindungsgemäßen Festtreibstoffes erfolgt dann analog zu der klassischen Feststoffverbrennung in der Brennkammer, wobei der Treibstoff mittels eines  
5 Zünders angezündet wird.

Fig. 2 zeigt ein Beispiel, bei dem als feste Phase, ein Aluminiumschwamm 3 eingesetzt wird, dessen Poren mit gefrorenem Sauerstoff verfüllt sind. Die Herstellung des erfindungsgemäßen Feststofftreibstoffes erfolgt wie vordem  
10 beschrieben.

Fig. 3 stellt eine Polyäthylenschüttung 4 dar, deren Hohlräume mit einem bei Raumtemperatur flüssigen Oxydator 5 gefüllt sind, der nach dem Füllen eingefroren wurde.

Die nachfolgende Tabelle zeigt die Anwendungsbreite der vorliegenden Erfindung auf, in der jeweils zwei Komponenten aufgeführt sind, wobei austauschbar immer eine der Komponenten den Oxydator und die andere den Brennstoff repräsentiert. Jede Komponente kann darüber hinaus auch eine  
15 homogene oder heterogene Mischung verschiedener Stoffe darstellen. Insbesondere wird darauf hingewiesen, dass natürlich auch hochenergetische Materialien, beispielsweise Vertreter der „High Energy Density Matter“ (HEDM), als Komponenten oder Zusätze in Frage kommen, beispielsweise  
20 disperse Atome oder Moleküle in einer stabilisierenden Matrix, gespannte Verbindungen (z.B. CUBAN), schwach kovalente Verbindungen (Polystickstoff), angeregte Atome oder  
25 Moleküle (Triplet-Helium) oder metallischer Wasserstoff.

Die kryogene Temperatur führt zu einer Stabilisierung der HEDM, die absolut einsatzrelevant ist.

30

Es wird auch nicht auf die unterschiedlichen Möglichkeiten des topologischen Zusammenhangs der Komponenten eingegangen, d.h. es kann sich in der folgenden Tabelle in jedem Fall, soweit zutreffend, um Schwämme oder Schüttungen handeln, auch  
35 wenn diese nicht als Beispiele genannt werden. Als „lagerfähig“ werden Stoffe bezeichnet, die bei Zimmertemperatur den

angegebenen Aggregatzustand haben, als „kryogen“, wenn sie aus einem der oben genannten Gründe in der Regel Kühlung  
5 brauchen.

Es erübrigt sich, darauf hinzuweisen, dass in Feststoffrakentriebwerken alle Komponenten von ihrer Natur her dieselbe Ausgangstemperatur besitzen.

Komponente 1	Komponente 2	Beispiele
Lagerfähiger Feststoff	Kryogener Feststoff	Kunststoff-Schwamm getränkt mit gefrorenem Wasserstoff-peroxyd ( $\text{SH}_2\text{O}_2$ ) oder Sauerstoff (SOX); gefrorenes $\text{SH}_2\text{O}_2$ oder SOX mit eingebetteten Brennstoff-Partikeln aus Kunststoff oder Metall
Lagerfähiger Feststoff	Kryogene Flüssigkeit	Kapseln oder Schläuche mit kryogener Komponente in Feststoff
Kryogener Feststoff	Kryogener Feststoff	Gefrorener Sauerstoff mit gefrorenem Brennstoff in jeder Möglichen quasi-monergolen Komposition, z.B. SMOX (Solid Methan & Solid Sauerstoff)
Kryogener Feststoff	Lagerfähige Flüssigkeit	Gefrorenes $\text{H}_2\text{O}_2$ mit eingekapseltem flüssigem Brennstoff
Kryogener Feststoff	Kryogene Flüssigkeit	Kombinationen von gefrorenen Kohlenwasserstoffen mit eingekapseltem flüssigem Sauerstoff
Kryogene Flüssigkeit	Kryogene oder lagerfähige Flüssigkeit	Schüttungen von Kapseln mit der beiden Komponenten, die durch zusätzlichen Binder verklebt sind

10

Tabelle: Morphologie der kryogenen Quasi-Monergole

15

**Patentansprüche**

1. Verfahren zum Herstellen von auf unter  
5 Raumtemperatur gekühlten (kryogenen), monergolen  
Feststofftreibstoffen für Raketenantriebe, insbesondere aus  
heterogenen Flüssig-Fest-Treibstoffen, bei denen mindestens  
einer der Reaktanden als Oxydator oder Brennstoff eine bei  
Normaltemperatur flüssige oder gasförmige Phase enthält,  
10 beispielsweise Emulsionen nicht ineinander löslicher  
flüssiger Komponenten, Suspensionen von festen in flüssigen  
Komponenten oder flüssigkeitsgetränkte Schüttungen,  
**d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t**, dass die  
mindestens eine flüssige oder gasförmige Phase als Reaktand  
15 in Form von Brennstoff oder Oxydator in eine feste, mit  
untereinander in Verbindung stehenden Hohlräumen  
ausgestattete Struktur aus zur flüssigen Phase komplementär  
gebildeten Reaktanden verbracht und die flüssige oder  
gasförmige Phase durch Einfrieren in eine unterhalb  
20 Normaltemperatur beständige kryogene feste Phase innerhalb  
der festen Struktur überführt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **d a d u r c h**  
25 **g e k e n n z e i c h n e t**, dass als feste Struktur ein  
offenporiger Schwamm, insbesondere ein Schwamm aus  
Kunststoff- und/oder Metallschaum, beispielsweise  
Polyäthylen-, Polyurethan-, HTPB-, GAP-, Aluminium-,  
Magnesium- oder Berylliumschaum, verwendet wird.

30

3. Verfahren nach Anspruch 2, **d a d u r c h**  
**g e k e n n z e i c h n e t**, dass als feste Struktur eine  
umgossene Schüttung aus Polyäthylen, Polyurethan, HTPB, GAP,  
35 AP, Aluminium, Magnesium oder Beryllium bzw. deren Mischungen  
verwendet wird.

4. Verfahren nach Anspruch 1 bis 3, **d a d u r c h**  
**g e k e n n z e i c h n e t**, dass die flüssige Phase in die  
feste Struktur durch Tauchen und/oder Tränken derselben  
5 eingebracht wird.

5. Verfahren nach Anspruch 1, **d a d u r c h**  
**g e k e n n z e i c h n e t**, dass als flüssige oder  
10 gasförmige Phase Sauerstoff, Kohlenwasserstoff,  
Wasserstoffperoxyd oder ein HEDM-Treibstoff verwendet wird.

6. Verfahren nach Anspruch 1, **d a d u r c h**  
15 **g e k e n n z e i c h n e t**, dass die feste Struktur durch  
Einfrieren von flüssigem Brennstoff oder Oxydator,  
insbesondere Sauerstoff, Kohlenwasserstoff,  
Wasserstoffperoxyd oder eines HEDM-Treibstoffes, erzeugt  
wird.

20

7. Verfahren nach Anspruch 1 und 6, **d a d u r c h**  
**g e k e n n z e i c h n e t**, dass die flüssige Phase zunächst  
verkapselt, anschließend mit der festen Struktur vermischt  
25 und durch einen Binder verklebt wird.

8. Verfahren nach Anspruch 1 und 6, **d a d u r c h**  
**g e k e n n z e i c h n e t**, dass die flüssige Phase  
verkapselt, vor Einfrieren der festen Struktur mit dieser  
30 vermischt und anschließend beide gemeinsam eingefroren  
werden.

9. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche,  
**d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t**, dass die  
35 Abbrandgeschwindigkeit durch die Wahl einer besonderen  
Hohlraumgröße in der festen Struktur eingestellt wird.

10. Auf unter Raumtemperatur gekühlter (kryogener) Festtreibstoff für Raketenantriebe, insbesondere eine heterogen quasi-monergole Brennstoff-Oxydator-Kombination, bei der mindestens einer der Reaktanden eine bei Normaltemperatur flüssige oder gasförmige Phase ist, beispielsweise Emulsionen nicht ineinander löslicher flüssiger Komponenten, Suspensionen von festen in flüssigen Komponenten oder flüssigkeitsgetränkte Schüttungen, **d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t**, dass mindestens einer der Reaktanden einen durch Kühlung in den stabilen Zustand überführten Feststoff enthält und mindestens einer der Reaktanden als eine zusammenhängende feste Phase mit einer untereinander in Verbindung stehenden Porenstruktur ausgebildet ist.

11. Festtreibstoff nach Anspruch 10, **d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t**, dass die feste Phase aus Kunststoffschäumen, insbesondere PUR, PE, HTPB-, GAP-Schäumen, Metallschäumen, beispielsweise Aluminium-, Magnesium- oder Berylliumschäumen, oder deren Gemischen besteht.

12. Festtreibstoff nach Anspruch 10, **d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t**, dass die feste Phase aus dem stabilen Feststoff besteht.

13. Festtreibstoff nach Anspruch 10, **d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t**, dass der durch Kühlung in den stabilen Zustand überführte Feststoff aus Sauerstoff, Kohlenwasserstoff, Wasserstoffperoxyd oder einem HEDM-Treibstoff besteht.

14. Festtreibstoff nach einem der vorherigen Ansprüche  
10 bis 13, **d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t**,  
5 dass die feste Phase aus einer Schüttung beliebig geformter  
Einzelstücke besteht, deren Hohlräume miteinander in  
Verbindung stehen, in die eine gefrorene Flüssigkeit als  
Reaktand eingelagert ist.

10

15. Festtreibstoff nach Anspruch 14, **d a d u r c h**  
**g e k e n n z e i c h n e t**, dass der gefrorene Reaktand  
nicht in homogener Form, sondern selbst als Schüttung durch  
Einmischen in die Hohlräume des ersten vorliegt.

15

16. Festtreibstoff nach einem der vorherigen  
Ansprüche 10 bis 15, **d a d u r c h g e k e n n z e i c h**  
**n e t**, dass die feste Phase mit einem Schutzüberzug versehen  
20 ist, welcher die beiden Reaktanden chemisch voneinander  
isoliert.

25

30

35

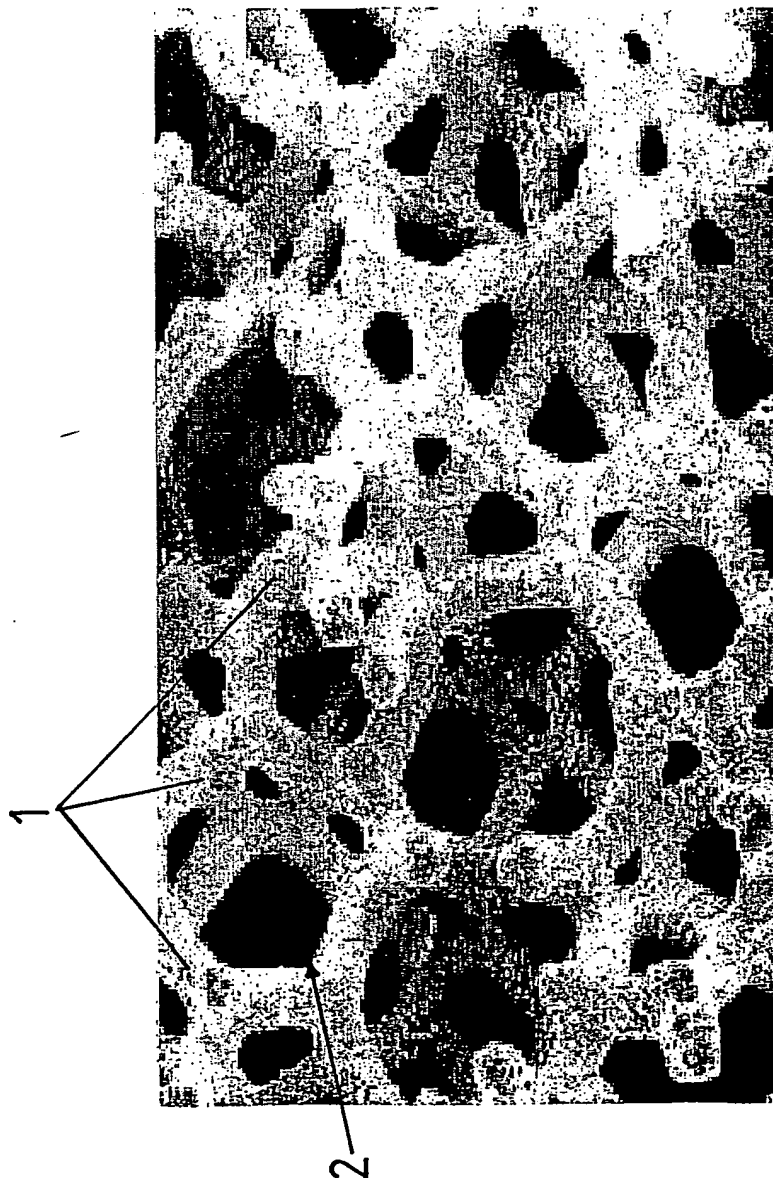


FIG. 1

BEST AVAILABLE COPY

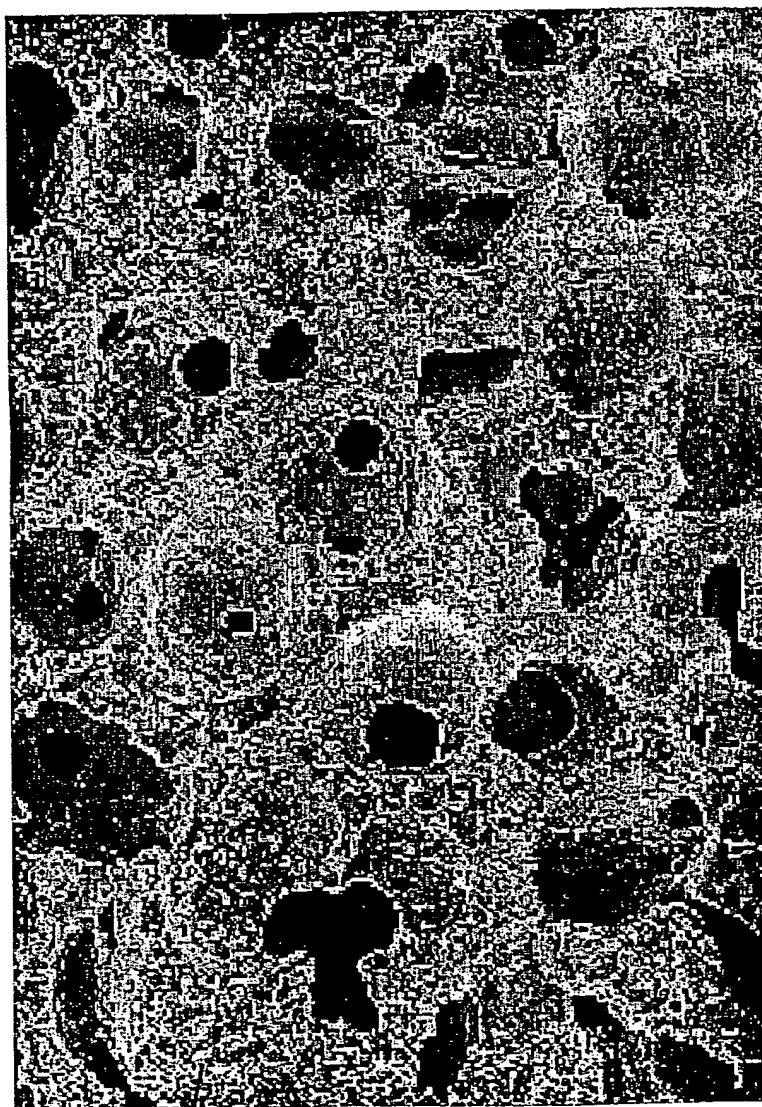


FIG. 2

3

BEST AVAILABLE COPY



- 3/3 -

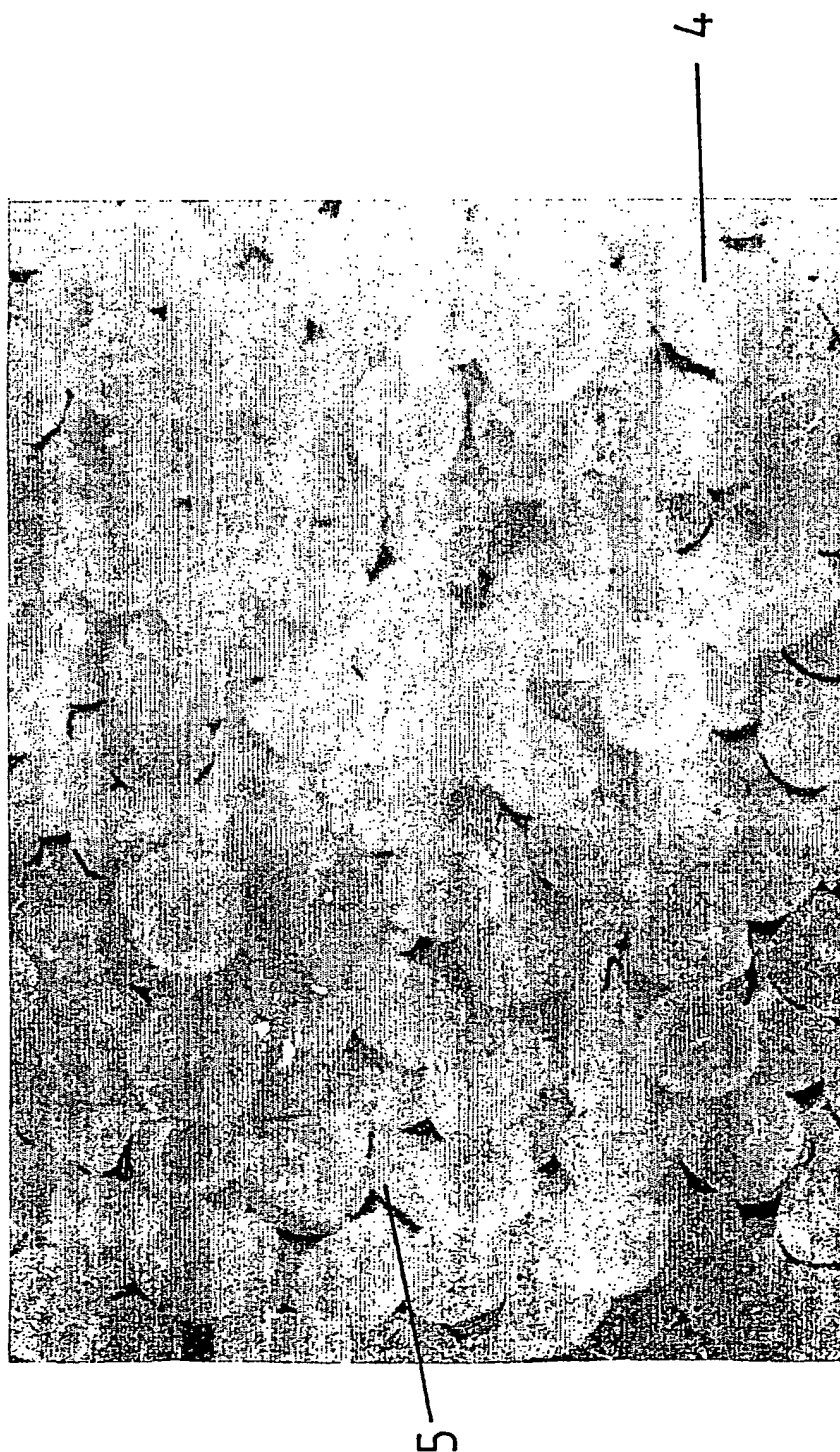


FIG. 3

BEST AVAILABLE COPY

Rec'd PCT/PTO 15 OCT 2004

10/511865

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/EP 03/03860

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b> IPC 7 C06B45/00 C06B47/02		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b> Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) IPC 7 C06B C06D		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used) CHEM ABS Data, COMPENDEX		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 3 137 127 A (A.V. GROSSE ET AL.) 16 June 1964 (1964-06-16) cited in the application column 12, line 6 - line 39; claims	1-16
A	US 6 101 808 A (W.H. KNUTH ET AL.) 15 August 2000 (2000-08-15) column 4, line 36 - line 57 column 2, line 4 - line 19; claims	1-6, 9-15
Y	US 3 259 532 A (W. GRAY REYNOLDS) 5 July 1966 (1966-07-05) column 1, line 44 - line 63; claims	1-6, 9-15
Y	US 3 191 535 A (J.F. MULLOY) 29 June 1965 (1965-06-29) claims	1-6, 9-15
-/-		
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of box C. <input checked="" type="checkbox"/> Patent family members are listed in annex.		
* Special categories of cited documents : "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier document but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art. "G" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 17 July 2003		Date of mailing of the international search report 25/07/2003
Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax. (+31-70) 340-3016		Authorized officer Schut, R

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/EP 03/03860

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	<p>DATABASE CA 'Online! CHEMICAL ABSTRACTS SERVICE, COLUMBUS, OHIO, US; POLLER, S. ET AL: "Combustion of oxidizer-fuel sandwiches" retrieved from STN Database accession no. 135:244583 CA XP002218969 abstract &amp; INTERNATIONAL ANNUAL CONFERENCE OF ICT (2001), 32ND(ENERGETIC MATERIALS), 153/1-153/12,</p>	1-6,9-15
Y	<p>US 3 687 746 A (H. BIEBER) 29 August 1972 (1972-08-29) cited in the application column 4, line 3 - line 45; claims</p>	1-6,9-15
Y	<p>US 3 367 268 A (L. SPENADEL ET AL.) 6 February 1968 (1968-02-06) cited in the application column 4, line 40 - line 72; claims</p>	1-6,9-15
Y	<p>US 3 143 446 A (K. BERMAN) 4 August 1964 (1964-08-04) claims</p>	1,7,8, 10,16
Y	<p>US 3 204 560 A (J.B. GUSTAVSON) 7 September 1965 (1965-09-07) claims</p>	1,7,8, 10,16
T	<p>V. WEISER ET AL.: "Investigation of the burning Behavior of Cryogenic Solid Propellants" PROPELLANTS, EXPLOSIVES, PYROTECHNICS, vol. 27, no. 3, June 2002 (2002-06), pages 150-155, XP008009690 page 153</p>	1,10

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP 03/03860

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 3137127	A	16-06-1964	NONE	
US 6101808	A	15-08-2000	NONE	
US 3259532	A	05-07-1966	NONE	
US 3191535	A	29-06-1965	NONE	
US 3687746	A	29-08-1972	NONE	
US 3367268	A	06-02-1968	NONE	
US 3143446	A	04-08-1964	NONE	
US 3204560	A	07-09-1965	NONE	

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 03/03860

## A. KLASIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

IPK 7 C06B45/00 C06B47/02

Nach der internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 C06B C06D

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

CHEM ABS Data, COMPENDEX

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	US 3 137 127 A (A.V. GROSSE ET AL.) 16. Juni 1964 (1964-06-16) in der Anmeldung erwähnt Spalte 12, Zeile 6 - Zeile 39; Ansprüche	1-16
A	US 6 101 808 A (W.H. KNUTH ET AL.) 15. August 2000 (2000-08-15) Spalte 4, Zeile 36 - Zeile 57 Spalte 2, Zeile 4 - Zeile 19; Ansprüche	1-6, 9-15
Y	US 3 259 532 A (W. GRAY REYNOLDS) 5. Juli 1966 (1966-07-05) Spalte 1, Zeile 44 - Zeile 63; Ansprüche	1-6, 9-15
Y	US 3 191 535 A (J.F. MULLOY) 29. Juni 1965 (1965-06-29) Ansprüche	1-6, 9-15
	-/-	

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

\*A\* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

\*E\* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

\*L\* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

\*O\* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

\*P\* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

\*T\* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

\*X\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung, die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden

\*Y\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung, die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann nahelegend ist

\*Z\* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

17. Juli 2003

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

25/07/2003

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde  
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 apo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3018

Bevollmächtigter Beauftragter

Schut, R

## INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 03/03860

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	<p>DATABASE CA 'Online!            CHEMICAL ABSTRACTS SERVICE, COLUMBUS,            OHIO, US;            POLLER, S. ET AL: "Combustion of            oxidizor-fuel sandwiches"            retrieved from STN            Database accession no. 135:244583 CA            XP002218969            Zusammenfassung            &amp; INTERNATIONAL ANNUAL CONFERENCE OF ICT            (2001), 32ND(ENERGETIC MATERIALS),            153/1-153/12,</p>	1-6,9-15
Y	<p>US 3 687 746 A (H. BIEBER)            29. August 1972 (1972-08-29)            in der Anmeldung erwähnt            Spalte 4, Zeile 3 - Zeile 45; Ansprüche</p>	1-6,9-15
Y	<p>US 3 367 268 A (L. SPENADEL ET AL.)            6. Februar 1968 (1968-02-06)            in der Anmeldung erwähnt            Spalte 4, Zeile 40 - Zeile 72; Ansprüche</p>	1-6,9-15
Y	<p>US 3 143 446 A (K. BERMAN)            4. August 1964 (1964-08-04)            Ansprüche</p>	1,7,8, 10,16
Y	<p>US 3 204 560 A (J.B. GUSTAVSON)            7. September 1965 (1965-09-07)            Ansprüche</p>	1,7,8, 10,16
T	<p>V. WEISER ET AL.: "Investigation of the            burning Behavior of Cryogenic Solid            Propellants"            PROPELLANTS, EXPLOSIVES, PYROTECHNICS,            Bd. 27, Nr. 3, Juni 2002 (2002-06), Seiten            150-155, XP008009690            Seite 153</p>	1,10

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die ☐ selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 03/03860

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 3137127	A	16-06-1964	KEINE
US 6101808	A	15-08-2000	KEINE
US 3259532	A	05-07-1966	KEINE
US 3191535	A	29-06-1965	KEINE
US 3687746	A	29-08-1972	KEINE
US 3367268	A	06-02-1968	KEINE
US 3143446	A	04-08-1964	KEINE
US 3204560	A	07-09-1965	KEINE